

# ความต้านทานการสึกหรอวัสดุ 2 ชนิดของวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมเมื่อสบกับเคลือบฟัน

## TWO-BODY WEAR RESISTANCE OF DENTAL CAD/CAM RESTORATIVE MATERIALS AND OPPOSING ENAMEL

วีร์ศิริ สกุนรัตน์<sup>1</sup> ปาวินี ภูมิพัชรภูมิกุล ดิดรอน<sup>2\*</sup>

*Veesiri Skunlatana<sup>1</sup>, Pavinee Padipatvuthikul Didron<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup>โรงพยาบาลภูมิพลอดุลยเดช กรมแพทย์ทหารอากาศ

*<sup>1</sup>Bhumibol Adulyadej Hospital, Directorate of Medical services, R.T.A.F.*

<sup>2</sup>ภาควิชาทันตกรรมทั่วไป คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

*<sup>2</sup>Department of General Dentistry, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University.*

**\*Corresponding author, e-mail:** [pavinee.didron@gmail.com](mailto:pavinee.didron@gmail.com)

**Received:** June 14, 2018; **Revised:** September 17, 2018; **Accepted:** September 20, 2018

### บทคัดย่อ

บทนำ: ปัจจุบันการขึ้นรูปวัสดุบูรณะฟันด้วยแคดแคมได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากขึ้นงานบูรณะที่ได้มีความแข็งแรงสวยงามและมีต้นทุนการผลิตต่ำ นอกจากนี้ในปัจจุบันผู้ป่วยยังมีความต้องการงานบูรณะที่มีความสวยงามแต่ใช้เวลาในการรักษาน้อย จึงทำให้การบูรณะฟันด้วยเซรามิกทั้งซี่ซึ่งขึ้นรูปขึ้นงานด้วยเทคโนโลยีแคดแคมได้รับความนิยมมากขึ้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาการสึกของวัสดุสำหรับการขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีแคดแคมประเภทต่างๆ เมื่อสบกับเคลือบฟันธรรมชาติของมนุษย์ เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาใช้เป็นแนวทางสำหรับการเลือกใช้วัสดุประเภทต่างๆ ให้เหมาะสมกับสภาวะในช่องปากของผู้ป่วย

วัสดุและวิธีการ: ทำการเตรียมชิ้นทดสอบจำนวน 12 ชิ้น จากวัสดุ 6 ประเภท คือ เฟลด์สปาร์ติกเซรามิก (Vita MarkII) เซอร์โคเนียเซรามิก (Incoris TZi Zirconia) กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Emax) กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย (Celtra Duo) ไฮบริดเซรามิก (Vita Enamic) และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก (Shofu) โดยเตรียมเป็นรูปทรงกระบอกชนิดละ 2 ชิ้น เพื่อทำการทดสอบการสึกกับชิ้นเคลือบฟัน ซึ่งเตรียมจากฟันกรามน้อยแท้ของมนุษย์ โดยใช้เครื่องมือศึกษาการสึกกร่อนแบบพินออนดิสก์ที่น้ำหนักคงที่ 20 นิวตัน ความเร็ว 100 รอบต่อนาที วัดปริมาตรการสึก (Volume Loss) โดยใช้เครื่องโปรไฟล์มิเตอร์ เพื่อประเมินการสึกในเชิงปริมาณของผิวเคลือบฟัน และใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ประเมินลักษณะการสึกในเชิงคุณภาพของผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะฟัน

ผลการศึกษา: วัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทไฮบริดเซรามิก มีปริมาตรการสึกสูงที่สุดในวัสดุ 6 ประเภท และพบว่าวัสดุบูรณะด้วยแคดแคมประเภทกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย วัสดุเซอร์โคเนียเซรามิก กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต มีค่าปริมาตรการสึกต่ำกว่าวัสดุประเภทเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก ไฮบริดเซรามิก และเฟลด์สปาร์ติกเซรามิกอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนของเคลือบฟันที่สบกับวัสดุประเภทเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก ไฮบริดเซรามิก และเฟลด์สปาร์ติก

เซรามิก มีปริมาณการสึกต่ำกว่าแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากเคลือบฟันที่สับกับวัสดุประเภทกลาสเซรามิก ชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย วัสดุเซอร์โคเนียเซรามิก และกลาสเซรามิกชนิดลิเทียม ไดซิลิเกต

**คำสำคัญ:** ความต้านทานการสึก แคลแคม เซรามิกทางทันตกรรม ปริมาณการสึก

### Abstract

**Introduction:** Dental ceramics are known for their excellent chemical and optical properties. The wear of human enamel and of the restorative material is often a vital and esthetical concern when selecting a restorative material for any given clinical restorative treatment. The aim of this study was to determine the two-body wear resistance of dental CAD/CAM restorative materials and the opposing enamel in-vitro.

**Material and Method:** Twelve test specimens were fabricated from 6 types of CAD/CAM ceramic, Feldspathic ceramic (Vita MarkII), Zirconia ceramic (Incoris TZi zirconia), Lithium disilicate glass -ceramics (Emax), zirconia-reinforced lithium silicate (Celtra Duo), Hybrid ceramic (Vita Enamic) and zirconium silicate hybrid ceramic (Shofu HC), with a dimension of 2 x 2 x 5 mm for pin specimens. Enamel specimens (n = 12) were prepared from the extracted human premolar teeth. Using a pin-on-disc wear tester, wear test between CAD/CAM restorative materials and enamel was performed under a constant load of 20 N, at 100 rpm for 4,000 cycles. Volume loss of enamel and CAD/CAM restorative material specimens was measured with a profilometer. Qualitative characterization of wear patterns of all test materials and enamel specimens were evaluated using scanning electron microscopy.

**Result:** The highest volume loss was found on Hybrid ceramic. Zirconia-reinforced lithium silicate, Zirconia ceramic and Lithium disilicate glass-ceramics have significantly less volume loss than Zirconium silicate hybrid ceramic, Hybrid ceramic and Feldspathic ceramic ( $p < 0.05$ ). The wear on enamel was found lower against zirconia silicate hybrid ceramic, Hybrid ceramic and Feldspathic ceramic, but the results were not significant ( $p > 0.05$ ).

**keywords:** Wear Resistance, CAD/CAM, Dental Ceramic, Volume Loss

### บทนำ

ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีของการบูรณะฟันได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น การใช้เทคโนโลยี แคลแคม (CAD/CAM) การใช้เลเซอร์ในการรักษา (Laser-Sintering And Melting) และการปริ้นท์ภาพแบบสามมิติ (3D-Printing) ซึ่งมีการพัฒนาทั้งคุณสมบัติทางกลและการผลิตวัสดุรุ่นใหม่ให้มีคุณสมบัติด้านต่างๆ ที่ดีขึ้น เช่น เซรามิกที่ให้ความแข็งแรงสูง (High Strength Ceramics) คอมโพสิตชนิดไฮบริด (Hybrid Composites) และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ซึ่งวัสดุเซรามิกได้รับความนิยมอย่างมาก มีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatible) และให้ความสวยงามใกล้เคียงธรรมชาติ [1-2]

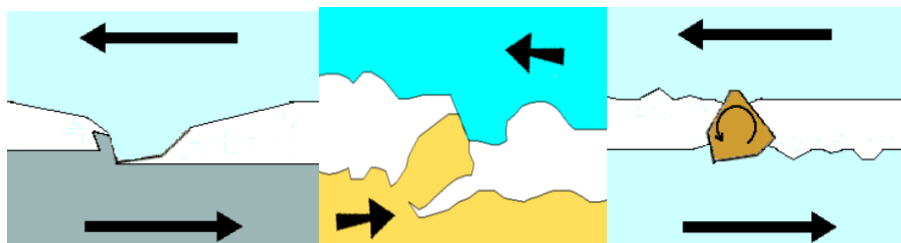
แม้ว่าในปัจจุบันมีวัสดุสำหรับการบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคลแคมมากมายหลายร้อยชนิด แต่มีการศึกษาเพียงเล็กน้อยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับการสึกของเคลือบฟันเมื่อสับกับวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคลแคม และยังไม่มีแนวทางที่ชัดเจนในการเลือกใช้วัสดุสำหรับการบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคลแคม ซึ่งอ้างอิงถึงความ

เหมาะสมในแง่ของการสึกจากการใช้งานในช่องปาก จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ ซึ่งต้องการศึกษาและพัฒนาแนวทางในการเลือกวัสดุสำหรับการบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคม เมื่อคู่สบเป็นฟันธรรมชาติและเมื่อคู่สบได้รับการบูรณะด้วยวัสดุชนิดต่างๆ

กลไกการสึก (Wear) เป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนและไม่มีทฤษฎีในการรักษาที่ชัดเจน การสึกเกิดขึ้นเมื่อมีบริเวณสัมผัสกันระหว่างพื้นผิวแข็งสองอัน การสัมผัสนั้นแตกต่างกันตั้งแต่บริเวณที่เล็กมากๆ คือเป็นจุดสัมผัส (Point Contact) และเกิดการสัมผัสกันเป็นบริเวณใหญ่ขึ้น คุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุ เช่น ความแข็งผิว ความแข็งแรง ความสามารถในการยึดตัว เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากในการต้านทานการสึก (Wear Resistance) แต่ปัจจัยอื่นๆ เช่น การขัดพื้นผิวให้มันเรียบ (Surface Finish) การหล่อลิ้น การลงน้ำหนัก ความเร็ว การสึกกร่อน อุณหภูมิและคุณสมบัติของพื้นผิวด้านตรงข้ามกับที่สัมผัสวัสดุก็มีความสำคัญเท่าๆ กัน [3]

กลไกการสึกแบบขัดถู (Abrasive Wear) เป็นพื้นฐานที่เกิดจากกลไกการถู (Grinding) และการขัด (Polishing) ซึ่งใช้ในวัสดุที่ขึ้นรูป การเกิดการสึกแบบขัดถูของวัสดุสองอันเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวของวัสดุอันหนึ่ง (ปกติแข็งกว่าอีกอันหนึ่ง) ขัดสีหรือถูกับวัสดุอีกชิ้นหนึ่ง กลไกนี้เมื่อเกิดขึ้นบ่อยๆ จะเปลี่ยนแปลงเป็นการสัมผัสกันของวัสดุสามชิ้น (Three Body Abrasive) ซึ่งเกิดจากชิ้นส่วนที่สึกของวัสดุหลุดลอก (Wear Debris) ออกมาในที่สุด [4]

การสึกจากวัตถุสองชนิด (Two-Body Wear) หมายถึงการที่พื้นผิวมีการขัดถูกันโดยตรงในระหว่าง การเคลื่อนไหว ความรุนแรงในการเคลื่อนไหวนั้นอาจทำให้เกิดการแตกหัก หรือการผิดรูปของวัสดุได้ ที่ระดับกล้องจุลทรรศน์จะไม่พบพื้นผิวที่เรียบ ดังนั้นเมื่อเกิดการสัมผัสกันของส่วนที่หยาบจะเกิดความหยาบมากขึ้น จนเกิดการกะเทาะและแตกหักในที่สุด การที่มีการสัมผัสกันของส่วนที่หยาบและส่วนที่เรียบและเมื่อสะสมไปนานๆ ก็จะทำให้เกิดการสึกในที่สุด ในช่องปากจะพบลักษณะนี้ได้ใน การสึกจากการบดเคี้ยว (Attrition) [5] (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แสดงกลไกการสึกจากการบดเคี้ยว (Attrition)

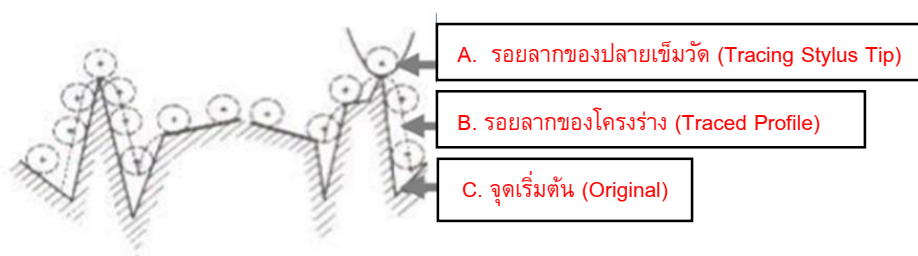
#### วิธีการประเมินฟันสึก (Method of Tooth Wear Assessment) [6]

ฟันสึกสามารถประเมินได้ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ ทั้งในห้องปฏิบัติการ (In Vitro) และทางคลินิก (In Vivo) Richards และคณะ [7] ศึกษาการสึกเชิงปริมาณโดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการสึกของฟันด้านบดเคี้ยวในฟันของผู้ป่วยแต่ละคนและเทียบกับอายุของผู้ป่วย โดยให้คะแนนระดับการสึกตามปริมาณ พื้นผิวของฟันที่หายไป แบ่งระดับอัตราการสึกเป็นระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง ซึ่งไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของการสึกได้ดี ในทางคลินิกมีความพยายามในการวัดปริมาณการสึกทั้งจากภาพถ่ายในช่องปาก และแบบพิมพ์ฟัน ต่อมาจึงมีการทดสอบการสึกในเชิงคุณภาพในห้องปฏิบัติการมี 4 วิธี ได้แก่ วิธีทางเคมี การใช้ภาพถ่ายรังสี การวิเคราะห์ภาพ ถ่ายดิจิทัล (Digital Image Analysis) เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Profilometry) และการวัดแบบแผนที่บนพื้นผิว (Surface Mapping) ซึ่งวิธีต่าง ๆ เหล่านี้มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่างกันไป

เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีความแม่นยำสูงสามารถวัดความแตกต่างระหว่างจุดสูงสุดและต่ำสุดของพื้นผิวที่ระดับนาโนเมตร สามารถแสดงผลเป็นสามมิติและวัดค่า

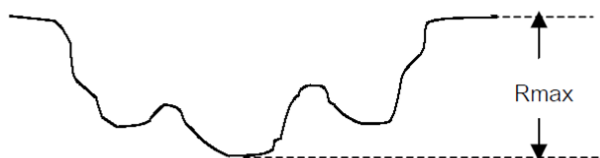
ความลึกสูงสุดออกมาเป็นตัวเลขได้ [8] มีสองแบบ คือ แบบสัมผัส (Contacting) ประกอบด้วยเข็มวัด (Mechanical Stylus Sensor) ที่ติดอยู่กับเครื่องมือสัมผัสกับตัวอย่างที่ทดสอบ โดยใช้แรงที่เบา แสดงผลเป็นเส้นรอยลาก (Profile) และแบบไม่สัมผัส (Non-Contacting) โดยใช้เลเซอร์สแกนเป็นภาพสองและสามมิติ ซึ่งจะบันทึกการสึกได้เร็วกว่าแบบสัมผัส [9]

มีรายงานว่าความแม่นยำในการวัดปริมาณการสึกของเครื่องวัดความหยาบผิวมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 2.2 ไมโครเมตร และค่าความถูกต้องเท่ากับ 10 ไมโครเมตร ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัดสามารถเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ขนาดของเข็มวัด แรงที่ใช้ในการสัมผัส ความเร็วของเข็มวัดและการสะท้อนกลับทางด้านข้าง ผลของขนาดของเข็มวัดเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดระดับสูงต่ำขึ้นลงตามแรงที่สัมผัส โดยมีลักษณะเป็นคลื่นขึ้นลง (ภาพที่ 2) ส่วนความผิดพลาดในเรื่องความเร็ว และการสะท้อนกลับด้านข้างเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยมาก นอกจากนี้การสัมผัสของเข็มวัดอาจทำลายพื้นผิวที่ต้องการทดสอบได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าพื้นผิวมีการละลายของแร่ธาตุ หรือมีความแข็งผิวต่ำ [10]



ภาพที่ 2 แสดงภาพเปรียบเทียบรอยโครงร่าง (B) และรอยของปลายแท่งสัมผัส (A) ที่เกิดความผิดพลาดบนพื้นผิวจากขนาดของแท่งสัมผัส

เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว ใช้เข็มวัดที่ติดอยู่กับเครื่องมือลากผ่านพื้นผิวที่ต้องการวัด แสดงผลเป็นเส้นรอยลาก แบบสองมิติของพื้นผิวที่เข็มวัดลากผ่าน แสดงค่าระดับความสูงต่ำของการวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดผล คือ ค่า  $R_{\text{max}}$  (Maximum Roughness Depth) หรือค่าที่วัดจากการลากเส้นตรงสองเส้น ผ่านจุดสูงสุดและต่ำสุดของรอยลาก แล้ววัดระยะห่างระหว่างเส้นทั้งสอง มีหน่วยเป็นไมโครเมตร (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ภาพแสดงค่า  $R_{\text{max}}$  ที่วัดจากการลากเส้นตรงสองเส้นผ่านจุดสูงสุดและต่ำสุดของรอยลาก

#### การทดสอบการสึก (Wear Test) [11]

การสึกเป็นการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นผิวของวัสดุหรือชิ้นงานในลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ เนื่องจากการแยกหลุดของอนุภาคบนผิวชิ้นงานจากการเสียดสีของผิวชิ้นงานระหว่างการใช้งานทำให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่าง และน้ำหนักชิ้นงาน หรือเป็นการหลุดของผิววัสดุจากการถูกแรงกระทำขณะที่ผิวเคลื่อนที่สัมผัสกับอีกพื้น

ผิวของวัสดุหนึ่ง เช่น การสึกจากการไถระหว่างผิว (Sliding Wear) ปริมาณการสึกขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น โครงสร้างระดับจุลภาคผิว ชนิดของวัสดุ ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุ ลักษณะของแรงที่กดลงบนตัวอย่าง ทดสอบ ปฏิริยาเคมีและอุณหภูมิ

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบการสึกของวัสดุสองชนิดที่ถูกันมีหลากหลายรูปแบบ เช่น แบบเคลื่อนที่ครั้งเดียว (Two-Body Abrasion Single-Pass Sliding) แบบหมุนเป็นวงกลมของวัสดุสองชนิด (Two-Body Wear Rotating Counter Sample) เครื่องไทรโบโลยีโดยใช้จานกับหมุด (Pin-On-Disc Tribometer) เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบแทเบอร์ (Taber Abrasion Tester) เครื่องทดสอบการสึกแบบใช้การแกว่งไปมาของวัสดุสองชนิด (Oscillatory Wear Tester) และการทดสอบการขัดหรือการกร่อน (Modified Polisher And Fretting Test)

เครื่องไทรโบโลยีโดยใช้จานกับหมุด เป็นวิธีการทดสอบการสึกของผิวคู่สัมผัสที่ได้รับความนิยม เนื่องจากเตรียมชิ้นงานทดสอบง่าย คือเตรียมเป็นแท่งฟันส์และแผ่นจาน ประกอบด้วยส่วนของฟันส์ทำการหมุนและสัมผัสกับส่วนของจานเพื่อทำให้เกิดรอยการสึก (Wear Track) การทดสอบจะมีการกำหนดความเร็ว น้ำหนัก และระยะทางตามแต่ละการทดสอบ

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการถึงการสึกของวัสดุบูรณะฟันประเภทต่างๆ ที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคม 6 ประเภท เมื่อสับกับเคลือบฟันมนุษย์

## วิธีดำเนินการวิจัย

### การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง

1. วัสดุบูรณะที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทต่างๆ 6 ประเภท คือ เฟลด์สปาร์ติกเซรามิก (Vita MarkII, Vita Zahnfabrik, Germany) เซอร์โคเนียเซรามิก (Incoris TZi Zirconia, Dentsply Sirona, USA) กลาสเซรามิก ชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Emax, Ivoclar-Vivadent AG) กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย (Celtra Duo, Dentsply Sirona, USA) ไฮบริดเซรามิก (Vita Enamic, Vita Zahnfabrik, Germany) และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก (Shofu, Shofu INC., Japan) โดยเตรียมชิ้นทดสอบเป็นแบบหมุด (Pin) ประเภทละ 2 ชิ้น ขนาด  $2 \times 2 \times 5$  มิลลิเมตร

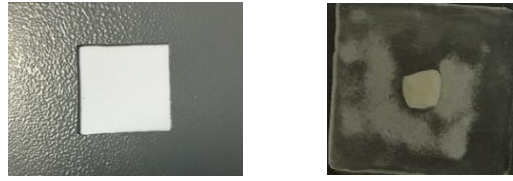
2. เคลือบฟันของฟันธรรมชาติซี่ฟันกรามน้อยที่ถูกถอนออกมาเพื่อการจัดฟัน ซึ่งไม่มีรอยผุ และทำเป็นชิ้นทดสอบแบบจาน (Disc) จำนวน 12 ชิ้น ขนาด  $3 \times 3$  มิลลิเมตร

### ขั้นตอนการเตรียมฟันธรรมชาติแบบจาน (Disc) ในการทดสอบ

1. นำฟันธรรมชาติซี่ฟันกรามน้อยที่ถูกถอนออกมาโดยการจัดฟัน เลือกซี่ฟันที่ไม่มีรอยผุเก็บไว้ในสารละลายโซเดียม เอไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 (0.01% Sodium Azide Solution) จากนั้นนำไปทำความสะอาดด้วยการล้างน้ำและขัดด้วยผงขัดฟัน (Pumice) โดยใช้หัวขัดยางรูปถ้วย (Prophylaxis Cups)

2. นำฟันมาตัดส่วนรากฟันออก และทำการแบ่งส่วนตัวฟันในแนวไกลกลาง-ใกล้กลาง (Distal-Mesial) ให้ได้เคลือบฟันด้านแก้ม (Labial Enamel Surface) ด้วยหัวกรอเร็วรูปฟิชเชอร์ (High-Speed Fissure Bur)

3. นำเคลือบฟันมายึดด้วยอะคริลิก เรซิน สีใสในบล็อกที่ทำจากเหล็กขนาด  $3 \times 3$  เซนติเมตรหนา 1 มิลลิเมตร (ภาพที่ 4)



**ภาพที่ 4** แสดงบล็อกที่ทำจากแผ่นเหล็ก โดยเจาะรูตรงกลางขนาด  $3 \times 3$  เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร เพื่อยึดเคลือบพื้นด้วยอะคริลิกสีใส

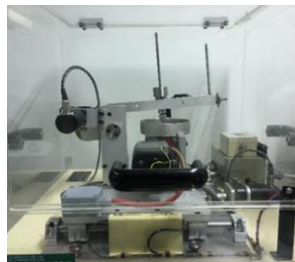
4. นำเคลือบพื้นที่ยึดในบล็อกมาขัดให้ผิวเรียบ ด้วยเครื่องขัดนาโน (Nano 1000T Grinder Polisher) โดยใช้กระดาษทรายน้ำซิลิคอน คาร์ไบด์ ความละเอียด 400, 800 และ 1,200 ตามลำดับ ล้างทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำชิ้นงานมาเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

5. วัดความหยาบพื้นผิวขั้นทดสอบแบบจานโดยใช้โปรไฟล์มิเตอร์ (Profilometer)

6. ชั่งน้ำหนักขั้นทดสอบแบบจาน โดยใช้เครื่องมือชั่งมาตรฐานซึ่งมีความละเอียด 0.1 กรัม ทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกค่า

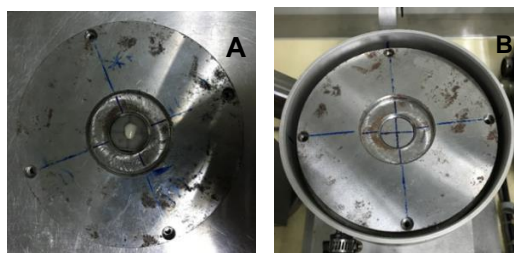
7. ดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบไปแช่ในตู้อบอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบการสึก  
**ขั้นตอนการทดสอบการสึก (Wear Testing)**

1. เตรียมเครื่องทดสอบการสึก (Wear Test) เป็นเครื่องลักษณะเฉพาะที่มีส่วนของจาน (Disc) และหมุด (Pin) เรียกว่าเครื่องมือศึกษาการสึกแบบจานและหมุด (Wear Tester Model TE79; Plint & Partners Ltd., Berkshire, England) (ASTM G99; Standard Test Method for Wear Testing with a Pin on Disc Apparatus) (ภาพที่ 5)



**ภาพที่ 5** แสดงเครื่องทดสอบการสึกแบบจานและหมุด (Wear Tester Model TE79 Pin on Disk)

2. นำชิ้นทดสอบแบบจาน ที่มีขนาด  $3 \times 3$  เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร วางไว้ตรงกลางแผ่นเหล็ก ซึ่งตรงกลางแผ่นเหล็กมีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 เซนติเมตรและยึดด้วยน็อต 4 ตัว (ภาพที่ 6)

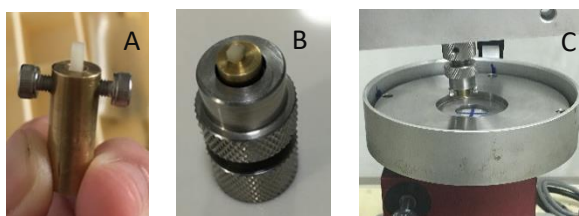


**ภาพที่ 6** แสดงลักษณะตัวยึดแบบจาน (Disc) A. นำชิ้นทดสอบแบบจานวางบริเวณวงกลมของแผ่นเหล็ก B. นำแผ่นเหล็กยึดเข้ากับเครื่องด้วยนอต 4 ตัว

3. นำชิ้นทดสอบแบบหมุด (pin) ที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2 x 2 x 5 มิลลิเมตร มายึดกับตัวจับที่มีรูปร่างทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร (ภาพที่ 7) และมีแท่งทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร สูง 23 มิลลิเมตร ซึ่งทำการเจาะรูตรงกลางเพื่อเป็นที่ยึดวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมแบบพินส์ และยึดด้วยนอต (ภาพที่ 8A) โดยนำแท่งทองเหลืองใส่ในตัวจับทรงกระบอกเพื่อเป็นแท่นยึด (ภาพที่ 8B) และนำไปยึดกับเครื่องทดสอบการสึก (ภาพที่ 8C)



**ภาพที่ 7** แสดงลักษณะตัวจับทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร



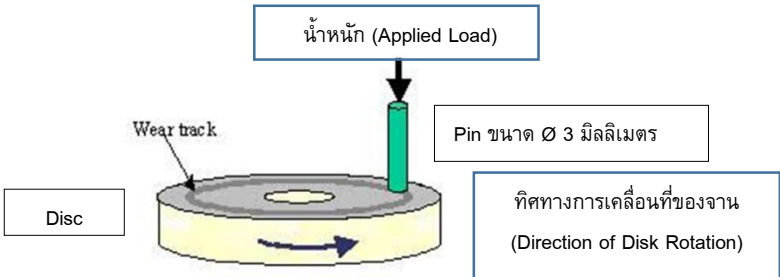
**ภาพที่ 8** A. แสดงการนำแท่งทองเหลืองใส่ลงในตัวจับทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร สูง 23 มิลลิเมตร และยึดกับวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมแบบพินส์ด้วยนอต  
B. นำแท่งทองเหลืองใส่ในตัวจับทรงกระบอก  
C. นำตัวจับทำการยึดกับเครื่องทดสอบการสึก

4. เมื่อทำการยึดส่วนจาน และหมุด เข้ากับเครื่องทดสอบการสึกเรียบร้อยแล้ว ทำการตั้งค่าการทดสอบด้วยโปรแกรม PLINT ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการทดสอบการสึก โดยตั้งค่าความเร็วจำนวนรอบของจานหมุน 100 รอบต่อนาที คำนวณน้ำหนักที่ใช้ในการกดสำหรับการทดสอบมีค่า 20 นิวตัน ที่อุณหภูมิห้อง สรุปดังตารางที่ 1 (ภาพที่ 9)

5. ทำการทดสอบชิ้นงานที่เตรียมไว้ ตามการจัดคู่ที่จัดไว้จนครบตามที่กำหนดการทดสอบทำภายใต้สภาวะควบคุมที่กำหนด ได้แก่ อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ในระหว่างการทดสอบซึ่งทำภายใต้ น้ำกลั่น ซึ่งเปลี่ยนใหม่ทุกครั้งหลังจากการทดสอบชิ้นงานแต่ละคู่

ตารางที่ 1 แสดงค่าที่กำหนดในกระบวนการทดสอบการสึก

กระบวนการในการดำเนินการ (Process Parameters)		ค่าที่กำหนด (Specifications)
1.	Disk Rotation Speed	100 รอบต่อนาที (rpm)
2.	Temperature	25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง)
3.	Wear Track Diameter	1.5 มิลลิเมตร
4.	Load	20 นิวตัน
5.	Time	60 นาที
6.	Specimen Diameter	2 มิลลิเมตร / 8 มิลลิเมตร



ภาพที่ 9 แสดงภาพจำลองการทดสอบการสึก

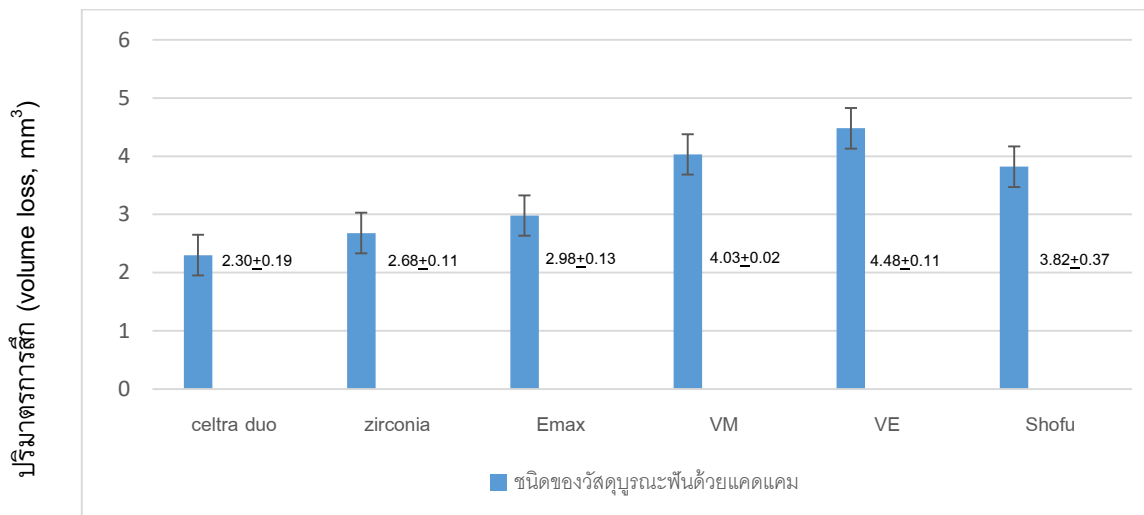
**การวิเคราะห์ค่าการสึกของเคลือบฟันและส่วนของวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคม**  
พื้นผิวของเคลือบฟันที่สึกบนที่กเป็นค่าปริมาตรการสึก (Volume Loss) ซึ่งคำนวณจากเครื่องโปรไฟล์มิเตอร์ และพื้นผิวของวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมคำนวณจากเครื่องสเตอริโอไมโครสโคป (Stereomicroscope)  
การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเชิงคุณภาพภายหลังทดสอบการสึก นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (No.887615, Kyowa Optical Co. Ltd, Tokyo, Japan) ซึ่งเป็นกล้องรุ่นเดียวกับการวิเคราะห์ก่อนทดสอบ  
การวิเคราะห์ทางสถิติ นำค่าการสึกมาวิเคราะห์สถิติ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) เมื่อข้อมูลมีการกระจายปกติ และมีความแปรปรวนแบบเดียวกัน (Homogeneity of Variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

ภาพที่ 10 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาตรการสึกของวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทต่าง ๆ เมื่อทดสอบการสึกกับเคลือบฟัน พบว่าวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทไฮบริดเซรามิก (Vita Enamic) มีปริมาตรการสึกสูงที่สุด และในวัสดุ 6 ประเภท พบว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสึกแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสึกในวัสดุ



คู่ต่างๆ โดยพบว่าวัสดุประเภทกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย เซอร์โคเนียเซรามิก กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต มีค่าเฉลี่ยการสึกแตกต่างกันจากวัสดุเฟลด์สปาร์ติกเซรามิก ไฮบริดเซรามิก และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



**ภาพที่ 10** แผนภูมิแท่งแสดงปริมาตรการสึก (Volume Loss) ของวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทต่างๆ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ติกเซรามิก (Vita Markii) เซอร์โคเนียเซรามิก (Incoris Tzi Zirconia) กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Emax) กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย (Celtra Duo) ไฮบริดเซรามิก (Vita Enamic) และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก (Shofu)

**ตารางที่ 2** แสดงผลต่างของค่าเฉลี่ยความสึกของวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทต่างๆ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ติกเซรามิก (Vita MarkII) เซอร์โคเนียเซรามิก (Incoris TZi zirconia) กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Emax) กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย (Celtra Duo) ไฮบริดเซรามิก (Vita Enamic) และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก (Shofu)

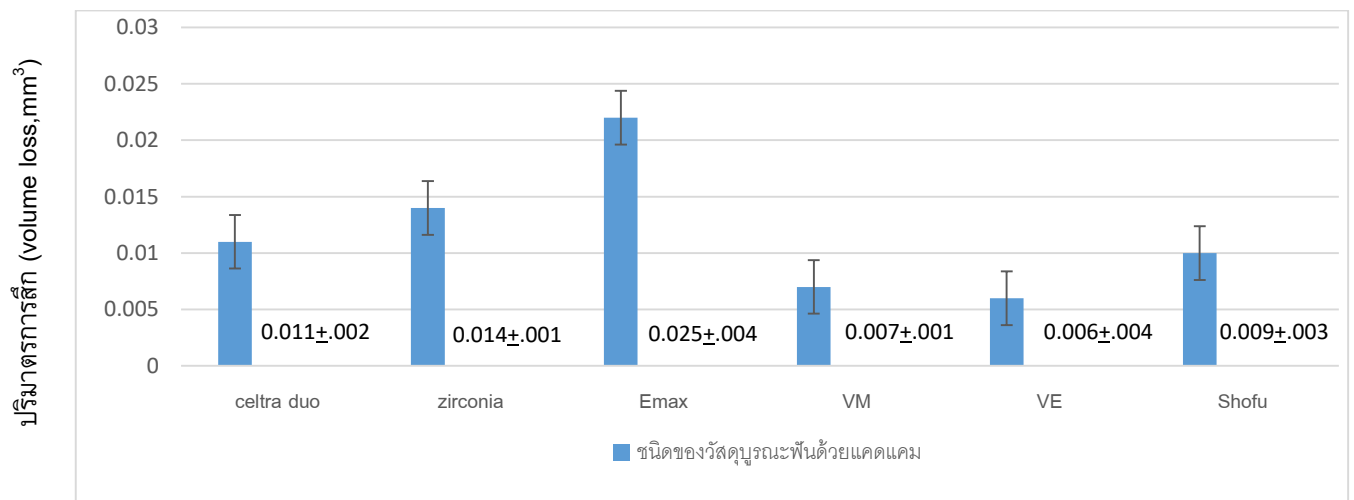
ประเภทของวัสดุ	ค่าเฉลี่ยการสึก	ค่าเฉลี่ยการสึก					
		Celtra Duo	zirconia	Emax	Vita MarkII	Vita Enamic	Shofu
<b>Celtra Duo</b>	2.30		-.38 (.434)	-.68 (.077)	-1.725* (.001)	-2.18* (.000)	-1.52* (.002)
<b>Zirconia</b>	2.68	.38 (.434)		-.30 (.637)	-1.345* (.003)	-1.80* (.001)	-1.14* (.007)
<b>Emax</b>	2.98	.68 (.077)	.30 (.637)		-1.045* (.011)	-1.50* (.002)	-.84* (.032)
<b>Vita MarkII</b>	4.03	1.725* (.001)	1.345* (.003)	1.045* (.011)		-.455 (.287)	.205 (.874)

<b>Vita Enamic</b>	4.48	2.18* (.000)	1.80* (.001)	1.50* (.002)	.455 (.287)		.66 (.086)
<b>Shofu</b>	3.82	1.52* (.002)	1.14* (.007)	.84* (.032)	-.205 (.874)	-.66 (.086)	

\*ผลการทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

( ) ค่านัยสำคัญทางสถิติ (p value)

ภาพที่ 11 แสดงปริมาตรการสึกของเคลือบฟันที่ได้ทำการทดสอบกับวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทต่างๆ 6 ประเภท พบว่าเคลือบฟันที่ทดสอบการสึกกับวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตมีปริมาตรการสึกสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

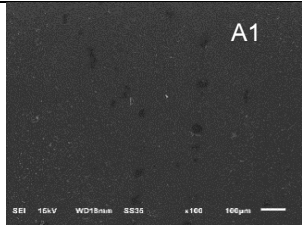
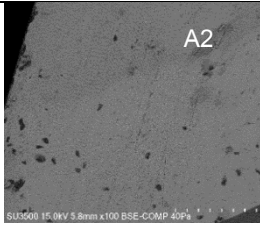
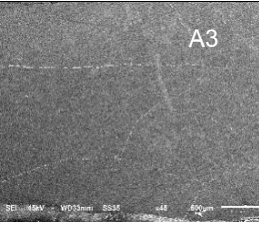
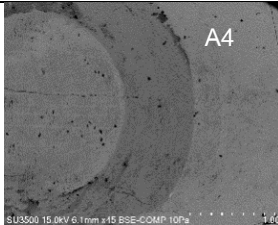
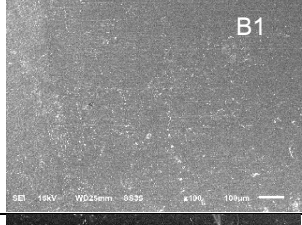
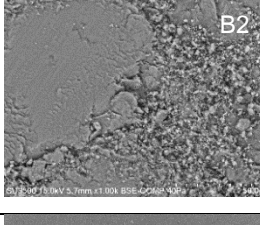
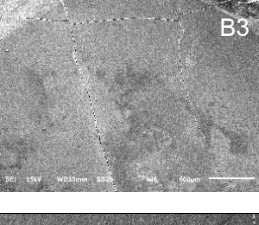
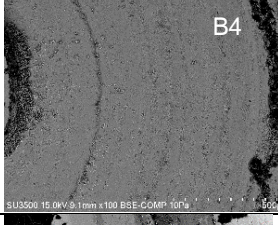
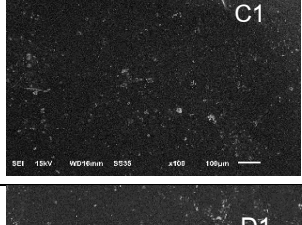

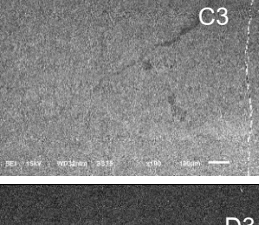
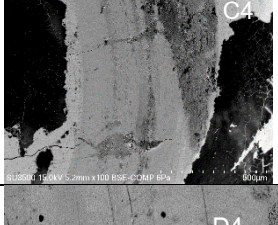
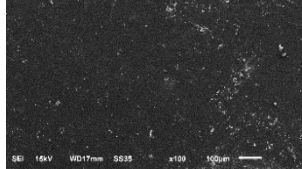
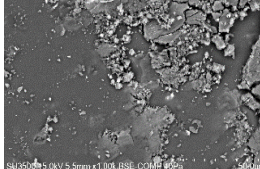

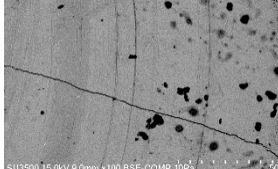










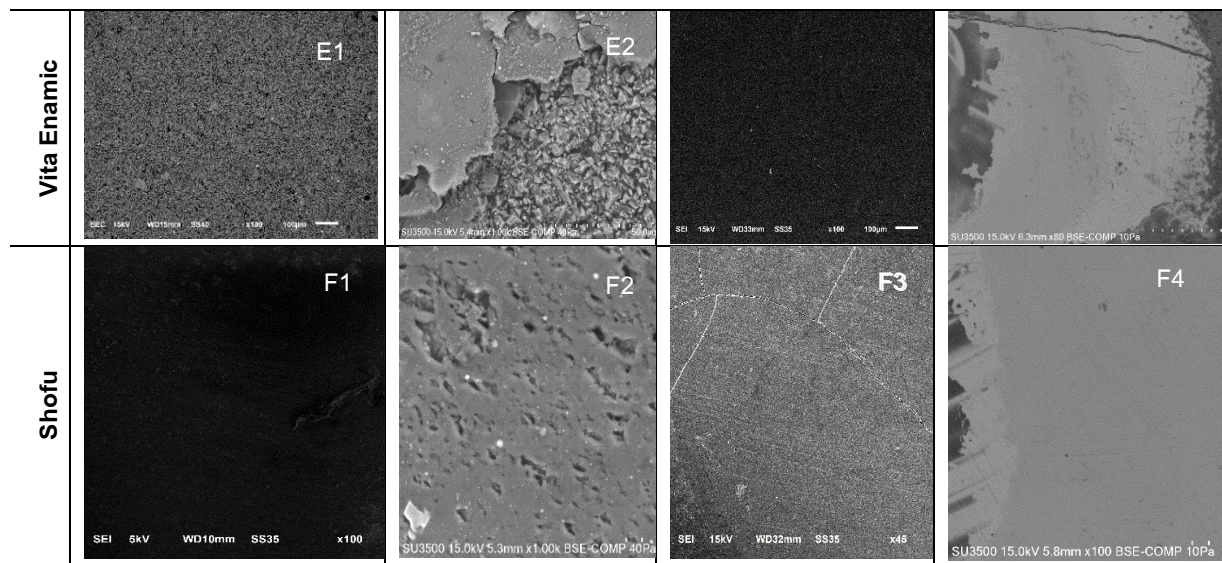
ภาพที่ 11 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาตรการสึกของเคลือบฟัน (Volume Loss) เมื่อทำการทดสอบการสึกกับวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคม 6 ประเภท ได้แก่ เฟลด์สปาร์ดีกเซรามิก (Vita MarkII) เซอร์โคเนียเซรามิก (Incoris TZi Zirconia) กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Emax) กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย (Celtra Duo) ไฮบริดเซรามิก (Vita Enamic) และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก (Shofu)

#### ลักษณะการสึกเชิงคุณภาพ (Qualitative Characterization of Wear)

ลักษณะการสึกเชิงคุณภาพของวัสดุต่างๆ ภายหลังการทดสอบการสึกแสดงในภาพที่ 12 วัสดุประเภทกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย ก่อนการทดสอบมีลักษณะเป็นผลึกเล็กๆ ของลิเทียมไดซิลิเกต (ภาพที่ 12 A1) ภายหลังการทดสอบการสึกพบความแตกต่างเพียงเล็กน้อยมีลักษณะรอยขีดข่วนเล็กน้อยเกิดขึ้นบนพื้นผิวของวัสดุ (ภาพที่ 12 A2) วัสดุประเภทเซอร์โคเนียเซรามิก ก่อนการทดสอบมีลักษณะอนุภาคเล็กๆ ของเซอร์โคเนีย (ภาพที่ 12 B1) ภายหลังการทดสอบการสึกพบลักษณะการแตกกระจายของอนุภาคเซอร์โคเนียโดยบริเวณที่มีการสึกมีการแตกกระจายของอนุภาคเซอร์โคเนียที่ชัดเจนต่างจากส่วน

ที่ไม่ได้ถูกขัดถู (ภาพที่ 12 B2) วัสดุประเภททาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ก่อนการทดสอบพบลักษณะผลึก  
 กลาสซิลิกากระจายทั่วไป (ภาพที่ 12 C1) ภายหลังการทดสอบไม่พบความแตกต่างของภาพ (ภาพที่ 12 C2)  
 วัสดุประเภทเฟลด์สปาร์ติกเซรามิก ก่อนการทดสอบพบการกระจายตัวของผลึกเฟลด์สปาร์ติกอย่างสม่ำเสมอ  
 (ภาพที่ 12 D1) ภายหลังการทดสอบการสึกพบการแตกตัวของผลึกเฟลด์สปาร์ติกในบริเวณที่ถูกขัดถู (ภาพที่ 12  
 D2) วัสดุประเภทไฮบริดเซรามิก ก่อนการทดสอบพบลักษณะพื้นผิวที่เป็นพอลิเมอร์เล็กๆ กระจายทั่วกันอยู่ทั่วไป  
 (ภาพที่ 12 E1) ภายหลังการทดสอบพบการเกาะของอนุภาคพอลิเมอร์อย่างชัดเจนในบริเวณที่มีการขัดถู  
 ของวัสดุ (ภาพที่ 12 E2) และวัสดุประเภทเซอร์โคเนียมซิลิเกตไฮบริดเซรามิก ก่อนการทดสอบพบอนุภาคฟิลเลอร์  
 กระจายตัวทั่วไป (ภาพที่ 12 F1) ภายหลังการทดสอบการสึกพบขอบเขตการสึกไม่ชัดเจน (ภาพที่ 12 F2) ซึ่งอาจ  
 เกิดจากอนุภาคของฟิลเลอร์มีขนาดต่าง ๆ กัน และพบมีหลุมบางบริเวณเล็กน้อย ในส่วนของเคลือบฟันที่ทดสอบ  
 การสึกกับวัสดุประเภททาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย เซอร์โคเนียเซรามิก  
 และทาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตพบรอยการสึกที่ชัดเจนมีลักษณะเป็นวงกลมตามรอยการขัดถูในการ  
 ทดสอบ (ภาพที่ 12 A4, B4, C4) ในขณะที่วัสดุประเภทเฟลด์สปาร์ติกเซรามิก ไฮบริดเซรามิก และเซอร์โคเนีย  
 ซิลิเกตไฮบริดเซรามิก พบว่ามีลักษณะค่อนข้างเรียบ รอยการสึกไม่ชัดเจน (ภาพที่ 12 D4, E4, F4)

วัสดุ	วัสดุประเภทต่าง ๆ (ฟันส์)		เคลือบฟัน (จาน)	
	ก่อนการทดสอบการสึก	หลังการทดสอบการสึก	ก่อนการทดสอบการสึก	หลังการทดสอบการสึก
Celtra Duo				
				
Incoris TZi				
				
Emax				
				
Vita MarkII				



ภาพที่ 12 ภาพก่อนและหลังการทดสอบการสึกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด  
(Scanning Electron Microscope)

### สรุปและอภิปรายผล

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการถึงผลของการสึกของเคลือบฟันเมื่อสบกับวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทต่างๆ 6 ประเภท คือ เฟลด์สปาร์ติกเซรามิก เซอร์โคเนียเซรามิก กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย ไฮบริดเซรามิก และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก ผลการศึกษาที่ได้แสดงถึงปริมาณการสึกของวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคม 6 ประเภท พบว่าวัสดุประเภทกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย เซอร์โคเนียเซรามิก และกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต มีปริมาณการสึกน้อยกว่าวัสดุประเภทเฟลด์สปาร์ติกเซรามิก ไฮบริดเซรามิก และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา [12] สามารถอธิบายได้เนื่องจากการสึกของเซรามิกเกิดจากกระบวนการแตกหัก (Microfracture Mechanism) ในขณะที่กระบวนการการสึกของโลหะ (Metal) และเรซินคอมโพสิตเกิดจากกระบวนการยึดติด (Adhesion) [13] นอกจากนี้ค่าความเหนียวในการแตกหัก (Fracture Toughness, Mpa-M<sup>1/2</sup>) ของวัสดุเป็นปัจจัยสำคัญในการป้องกันการเกิดรอยแตกร้าว (Cracking) [14] ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าความเหนียวในการแตกหักของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบพบว่าวัสดุประเภทกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย มีความเหนียวในการแตกหักสูงที่สุด เท่ากับ 5.5-6.2 รองลงมาได้แก่วัสดุเซอร์โคเนียเซรามิก เท่ากับ 5.9 กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตเท่ากับ 2.2-3.3 เซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก เท่ากับ 2.2 ไฮบริดเซรามิก เท่ากับ 1.02 และเฟลด์สปาร์ติกเซรามิก เท่ากับ 0.73 ตามลำดับ [15] ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุที่มีค่าความเหนียวในการแตกหักและค่าความต้านทานการแตกหักสูงก็จะมี การสึกเกิดขึ้นได้น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้

ผลการสึกของเคลือบฟันเมื่อสบกับวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคม 6 ประเภท พบว่าวัสดุประเภทกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย เซอร์โคเนียเซรามิก และกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต มีปริมาณการสึกมากกว่าวัสดุประเภทเฟลด์สปาร์ติกเซรามิก ไฮบริดเซรามิก และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก ซึ่งเกิดจากกลไกการสึกของวัสดุบูรณะฟันและเคลือบฟันมีความแตกต่าง



กัน อธิบายได้ว่าการสึกที่มากของเคลือบฟันเมื่อสบกับวัสดุประเภทกลาสเซรามิก ทำให้เกิดขึ้นส่วนการสึก (Wear Debris) อนุภาคของกลาสหลุดลอกออกมาในระหว่างกระบวนการการสึกทำให้เกิดเป็นตัวกลางที่เพิ่มขึ้น และเกิดกลไกการสึกจากวัสดุสามชนิด (Three Body Wear Mechanism) ซึ่งอนุภาคนี้นำมาทำให้เกิดการสึกของเคลือบฟันตามมา แม้ว่าการทดสอบการสึกจะทำภายใต้ น้ำกลั่นซึ่งช่วยหล่อลื่นการสัมผัสกันของผิววัสดุ ชะล้างชิ้นส่วนวัสดุให้หลุดไปและลดการสร้างความร้อนจากการขัดถู ชิ้นส่วนของวัสดุที่หลุดออกมาอาจค้างอยู่ในรอยการสึก และมีผลต่อการสึกและเกิดแรงเครียดเมื่อสัมผัสกัน

การที่ได้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน อาจเกิดจากการขาดความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ในเคลือบฟันของฟันธรรมชาติ [16] ไม่เพียงแต่ความหลากหลายระหว่างซี่ฟัน แต่ยังมีหลากหลายของซี่ฟันแต่ละซี่ด้วย ความแตกต่างของตำแหน่งเคลือบฟันบนตัวฟัน อาจทำให้เกิดคุณสมบัติที่ต่างกันของเคลือบฟัน ดังนั้นทำให้ได้ผลที่ต่างกันมาก

วิธีการทดสอบการสึก จำนวนเวลา ปริมาณน้ำหนัก ความเร็วเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสึกของเคลือบฟัน [17] ความเร็วที่มากทำให้มีอัตราการสึกที่มากกว่า รวมถึงแรงกดที่มากกว่าทำให้เกิดการสึกที่เร็วขึ้น วิธีการทดสอบการสึกที่แตกต่างกันทำให้ได้ผลที่ต่างกันในแต่ละการทดสอบ ดังนั้นยากที่จะเปรียบเทียบผลโดยตรงกับความหลากหลายของการศึกษาก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ควบคุมปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวทั้งน้ำหนัก เวลาทดสอบ ความเร็ว และได้ทำการทดสอบโดยผู้วิจัยคนเดียวตลอดงาน เพื่อลดความเหลื่อมล้ำระหว่างชิ้นงานทดสอบ และควบคุมสภาวะในการทดสอบให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

การศึกษานี้สรุปได้ว่าวัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย เซอร์โคเนียเซรามิก และกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต มีปริมาตรการสึกน้อยกว่าวัสดุประเภทเฟลด์สปาร์ดีกเซรามิก ไฮบริดเซรามิก และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก แต่ไม่ทำให้เคลือบฟันเกิดการสึกแตกต่างจากวัสดุประเภทเฟลด์สปาร์ดีกเซรามิก ไฮบริดเซรามิก และเซอร์โคเนียซิลิเกตไฮบริดเซรามิก ดังนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิก โดยเลือกใช้วัสดุบูรณะฟันที่ขึ้นรูปด้วยแคดแคมประเภทกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมซิลิเกตเสริมความแข็งแรงด้วยเซอร์โคเนีย เซอร์โคเนียเซรามิก และกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ในการบูรณะฟันที่ต้องการความแข็งแรงได้ โดยไม่ต้องกังวลถึงการสึกของเคลือบฟันธรรมชาติ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Zarone F, Ferrari M, Mangano FG, Leone R, Sorrentino R. (2016). Digitally Oriented Materials: Focus on Lithium Disilicate Ceramics. *Int J Dent*. pp. 1-10.
- [2] Peng Z, Izzat Abdul Rahman M, Zhang Y, Yin L. (2016). Wear behavior of pressable lithium disilicate glass ceramic. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 104, 968-978.
- [3] Stawarczyk B, Özcan M, Trottman A, Schmutz F, Roos M, Hammerle C. (2013). Two-body wear rate of CAD/CAM resin blocks and their enamel antagonists. *J Prosthet Dent*. 109, 325-332.
- [4] Savabi O, Nejatidanesh F, Shabanian M, Anbari Z. (2011). Two-body wear resistance of some indirect composite resins. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 19, 81-84.
- [5] DeLong R, Douglas WH. (1983). Development of an artificial oral environment for the testing of dental restoratives: bi-axial force and movement control. *J Dent Res*. 62, 32-36.
- [6] Peutzfeldt A, Asmussen E. (1992). Modulus of resilience as predictor for clinical wear of restorative resins. *Dent Mater*. 8, 146-148.

- [7] Richards LC, Kaidonis JA, Townsend GC. (2003). A model for the prediction of tooth wear in individuals. *Aust Dent J.* 48, 259-262.
- [8] Kaidonis JA, Gratiaen J, Bhatia N, Richards LC, and Townsend GC. (2003). Tooth wear prevention: a quantitative and qualitative in vitro study. *Aust Dent J.* 48, 15-19.
- [9] Attin T. (2006). Methods for assessment of dental erosion. *Monogr Oral Sci.* 20, 152-172
- [10] Smith BG, and Knight JK. (1984). A comparison of patterns of tooth wear with aetiological factors. *Br Dent J.* 157, 16-19.
- [11] Mair LH, Stolarski TA, Vowles RW, Lloyd CH. (1996). Wear: mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. *J Dent.* 24, 141-148.
- [12] Mormann WH, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A. (2013). Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: Two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *J Mech Behav Biomed Mater.* 20, 113-125.
- [13] Anusavice K, Shen C, Rawls HR. (2013). *Phillips' science of dental materials*. 12th ed. Elsevier. St. Louis. pp. 419-120.
- [14] Fischer TE, Anderson MP, Jahanmir S. (1989). Influence of fracture toughness on the wear resistance of yttria doped zirconium oxide. *J Am Ceram Soc.* 72, 252-257.
- [15] Conrad HJ, Seong WJ, Pesun IJ. (2007). Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a review. *J Prosthet Dent.* 98, 389-404.
- [16] Preis V., Behr M, Kolbeck C, Hahnel S, Handel G, Rosentritt M. (2011). Wear performance of substructure ceramics and veneering porcelains. *Dent Mater.* 27, 796-804.
- [17] O'Brien, WJ. (2008). *Dental Materials and Their selection*. 4th ed. Quintessence. Chicago. pp. 12-14.